

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-349336

(43)Date of publication of application : 15.12.2000

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01L 21/20

(21)Application number : 11-157588

(71)Applicant : SHOWA DENKO KK

(22)Date of filing : 04.06.1999

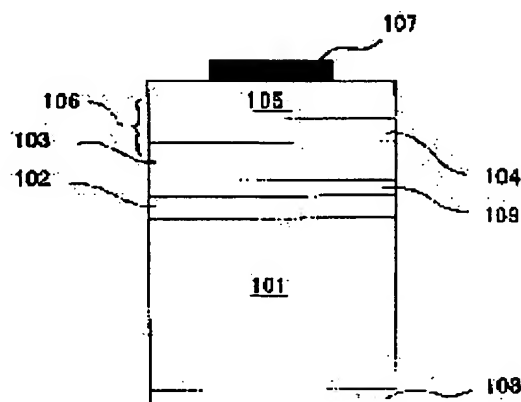
(72)Inventor : UDAGAWA TAKASHI

(54) III-FAMILY NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form lamination structure that is made of a flat III-family nitride semiconductor crystal with improved crystallizability on an Si single crystal substrate by specifying the content of the oxide of gallium of an oxide buffer with n-type conductivity that is formed in contact with the Si single crystal substrate.

SOLUTION: An oxide buffer layer 102 contains the oxide of gallium Ga larger than 50 wt.%. More specifically, the oxide buffer layer 102 is composed by the mixture of Ga₂O₃, for example, containing 50 wt.% Ga₂O₃ or larger and indium oxide In₂O₃. Also, the oxide buffer layer 102 is composed by an oxide layer with n-type conductivity. Also, Si single crystal with n-type conductivity is used for an Si single crystal substrate 101 corresponding to the n-type oxide buffer layer 102. As a result, lamination structure that is made of III- family nitride semiconductor crystal with a flat surface and improved crystallizability can be grown on the buffer layer 102.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

05.10.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-349336

(P2000-349336A)

(43) 公開日 平成12年12月15日 (2000. 12. 15)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テームト* (参考)

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C 5 F 0 4 1

21/20

21/20

5 F 0 5 2

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-157588

(22) 出願日 平成11年6月4日 (1999. 6. 4)

(71) 出願人 000002004

昭和電工株式会社

東京都港区芝大門1丁目13番9号

(72) 発明者 宇田川 隆

埼玉県秩父市下影森1505番地 昭和電工株式会社総合研究所秩父研究室内

(74) 代理人 100094237

弁理士 矢口 平

Fターム (参考) 5F041 AA04 AA40 CA04 CA23 CA33

CA34 CA35 CA40 CA46 CA57

CA65 CA66

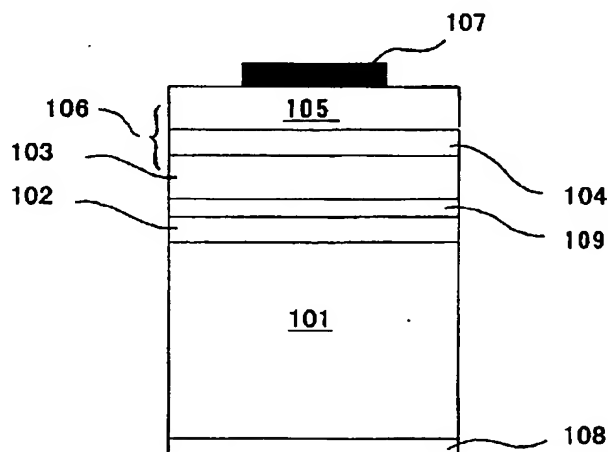
5F052 KA02

(54) 【発明の名称】 I I I 族窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 S i 単結晶基板上に平坦で結晶性の優れた I I I 族窒化物半導体結晶から成る積層構造を形成し、特性に優れた I I I 族窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 n 形の導電性を有する S i 単結晶基板と、該基板上に形成された緩衝層と、該緩衝層上に形成された I I I 族窒化物半導体結晶からなる積層構造とを具備する I I I 族窒化物半導体発光素子において、前記緩衝層を、 S i 単結晶基板に接して形成された、ガリウム (G a) の酸化物を 5 0 重量%より多く含む、 n 形の導電性を有する酸化物緩衝層を有するものとする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 n 形の導電性を有する珪素 (Si) 単結晶基板と、該基板上に形成された緩衝層と、該緩衝層上に形成された III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造とを具備する III 族窒化物半導体発光素子において、前記緩衝層が、前記 Si 単結晶基板に接して形成された、ガリウム (Ga) の酸化物を 50 重量%より多く含む、n 形の導電性を有する酸化物緩衝層を有することを特徴とする III 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】 前記緩衝層が、前記酸化物緩衝層上に形成された III 族窒化物半導体からなる第 2 の緩衝層を有することを特徴とする請求項 1 に記載の III 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】 前記酸化物緩衝層が、ベータ (β) 結晶型の三酸化ガリウム ($\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$) を 50 重量%より多く含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の III 族窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、珪素 (Si) 単結晶基板上に III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を形成して作製した III 族窒化物半導体発光素子に係わり、特に、前記基板上に好適な緩衝層を介して形成した結晶性の良い III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を用いて作製した III 族窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒素 (N) を構成元素とする III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造は、短波長可視光発光用の発光ダイオード (LED) やレーザーダイオード (LD) などの発光素子に用いられている。従来、上記の発光素子に用いられる III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造は、もっぱら、六方晶 (hexagonal) 系のサファイア (Al_2O_3 単結晶) や炭化珪素 (SiC) 単結晶からなる基板上に、積層構造の構成層を順次積層させて形成していた。

【0003】 これに対し最近では、Si 単結晶基板に形成した III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を用いて、短波長可視光発光用の発光素子を作製した例がある。Si 単結晶を基板に用いるのは、ダイヤモンド (diamond) 構造の結晶構造を有する Si 単結晶を基板とすれば、(1) [011] 結晶方向への劈開を利用して個別素子 (チップ) に簡易に裁断できる、(2) レーザーダイオードでは、劈開により簡便に光共振面を形成できる等の利点があるためである。また、Si 単結晶基板は導電性を有するため、オーミック (ohmic) 電極を基板の裏面に形成できる利点もある。

【0004】 しかし、Si 単結晶と例えば III 族窒化物半導体のひとつであるウルツ鉱 (wurtzite) 型の六方晶窒化ガリウム (GaN) との格子定数の差異

(格子ミスマッチ度) は約 17% の大きさに達する。このため、Si 単結晶基板上に直接 GaN のような III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を形成した場合、結晶性に優れかつ平坦な積層構造を得ることは困難であった。

【0005】 このため、Si 単結晶基板上に緩衝層を介して III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を形成する方法も、従来から用いられていた。この場合、緩衝層に窒化アルミニウム (AlN) からなる層が用いられていた例がある (特開平 10-242586)。この従来技術では、 AlN 緩衝層は 840℃ で形成されている。しかし、この従来技術のように Si 単結晶基板上に単層の AlN 緩衝層を敷設したところで、該緩衝層上に積層した III 族窒化物半導体結晶層の表面の平坦性が、必ずしも充分に確保されるに至っていないのが現状であった。

【0006】 また別の従来技術として、Si 単結晶基板の (111) 表面に砒化アルミニウム (AlAs) 層と砒化ガリウム (GaAs) 層とを重ねて積層し、さらに該 AlAs 層と GaAs 層を酸化して、 AlO_x 層とその上の α 結晶型の三酸化ガリウム ($\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$) 層とを形成すれば、その上に表面を平坦とする α 結晶型の GaN ($\alpha\text{-GaN}$) 層が堆積できるという報告がある (Appl. Phys. Lett., 73 (11) (1998)、1553~1555 頁)。しかし、表面が平坦な GaN 層をもたらすこの従来技術では、Si 単結晶基板表面上に予め AlAs 層と GaAs 層とを重ねて積層し、さらに該 AlAs 層と GaAs 層に酸化を及ぼして、 AlO_x 層とその上の α 結晶型の三酸化ガリウム ($\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$) 層とからなる緩衝層を形成するといった煩雑な工程が必要であった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 上記の如く、従来の方法により表面が平坦な III 族窒化物半導体結晶層を Si 単結晶基板上に形成するためには、砒素 (As) を含む III-V 族化合物半導体層を一旦 Si 単結晶基板上に堆積し、更にそれを酸化して Si 単結晶基板上に酸化物からなる緩衝層を形成し、その緩衝層を介して例えば GaN 層のような III 族窒化物半導体結晶層を積層させるという煩雑な工程が必要であった。

【0008】 本発明は、この従来技術の問題点を鑑み成されたもので、Si 単結晶結晶基板上に表面の平坦な結晶性の良い III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を形成するために、簡単に形成することが出来る新規な構造の緩衝層を提供するものである。すなわち本発明は、簡単に形成できる新規な構造の緩衝層を介して、Si 単結晶基板上に平坦で結晶性の優れた III 族窒化物半導体結晶から成る積層構造を形成し、Si 単結晶を基板とすることにより得られる多くの素子作製上の特点を活用して、特性に優れる III 族窒化物半導体発光素子

を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】すなわち本発明は、 n 形の導電性を有する珪素 (Si) 単結晶基板と、該基板上に形成された緩衝層と、該緩衝層上に形成された III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造とを具備する III 族窒化物半導体発光素子において、前記緩衝層が、前記 Si 単結晶基板に接して形成された、ガリウム (Ga) の酸化物を 50 重量%より多く含む、 n 形の導電性を有する酸化物緩衝層を有することを特徴とする。

【0010】また本発明は、上記の緩衝層が、前記酸化物緩衝層上に形成された III 族窒化物半導体からなる第 2 の緩衝層を有することを特徴とする。

【0011】さらに本発明は、上記の酸化物緩衝層が、ベータ (β) 結晶型の三酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) を 50 重量%より多く含むことを特徴とする。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明は、Si 単結晶基板上に形成された緩衝層が、Si 単結晶基板に接して形成された、ガリウム (Ga) の酸化物を 50 重量%より多く含む、 n 形の導電性を有する酸化物緩衝層を有することを特徴とする。Ga の酸化物には、一般に Ga₂O (gallium suboxide)、GaO (gallium oxide) や Ga₂O₃ (gallium sesquioxide) がある (L. A. SHEKA 他著、"THE CHEMISTRY OF GALLIUM" (ELSEVIER Pub. Co., 1966)、29~36 頁参照)。また、同じ Ga₂O₃ でも、結晶形態から α 型 (α -Ga₂O₃)、 β 型 (β -Ga₂O₃)、 γ 型 (γ -Ga₂O₃)、 δ 型 (δ -Ga₂O₃)、及び ϵ 型 (ϵ -Ga₂O₃) 等がある。本発明の緩衝層を構成するガリウムの酸化物が、GaO か Ga₂O かであるかは、酸化ガリウムの種類によって結晶の格子定数 (lattice constant) が異なるため、X 線回折分析法 (X-ray diffraction analysis) などにより結晶の格子面間隔から同定できる。

【0013】本発明の酸化物緩衝層は、ガリウム (Ga) の酸化物を 50 重量%より多く含むものとする。すなわち本発明の酸化物緩衝層は、例えば、Ga₂O₃ を 50 重量%を越えて含む、Ga₂O₃ と酸化インジウム (In₂O₃) との混合物から構成できる。また、Ga の酸化物を 50 重量%より多く含む Ga₂O₃ と酸化カルシウム (CaO) との混合体からも構成できる。上記の Ga の酸化物を 50 重量%より多く含む酸化物緩衝層は、例えば、トリメトキシガリウム (trimethoxy gallium: (H₃CO)₃Ga) を原料とする化学的気相堆積 (CVD) 法などで形成できる。また、酸化ガリウム粉体をプレス加工したターゲット (target) としたスパッタリング法などの物理的堆積法によ

ても形成できる。

【0014】また、本発明の酸化物緩衝層は、 n 形の導電性を有する酸化物層から構成する。酸化物緩衝層は、 p 形の導電性を有するものとすることもできるが、酸化物層の比抵抗の安定的な制御性を考慮すれば、酸化物緩衝層は n 形の導電性を有する層とするのが有利である。また、酸化物緩衝層を n 形とするのに対応させて、本発明の Si 単結晶基板には、 n 形の導電性を有する Si 単結晶を使用する。 n 形の Si 単結晶基板には、アンチモン (Sb) 或いはリン (P) などの n 形不純物が添加された Sb ドープ或いは P ドープの Si 単結晶などが使用できる。Si 単結晶基板の面方位は、(001) 方向や (111) 方向あるいは上記方向からオフ角を有するものを用いることができる。Si 単結晶基板の面方位が何れであっても、本発明の作用あるいは効果は得られる。

【0015】本発明の酸化物緩衝層の層厚は、数 nm から数 μ m の範囲とするのが好ましい。酸化物緩衝層の厚さが 1 nm 以下であると、酸化物緩衝層は連続性を欠くものとなり、Si 単結晶基板の表面を十分に被覆することができない。逆に、酸化物緩衝層の厚さが 10 μ m 以上であると、酸化物緩衝層の表面に凹凸が発生し、平坦性を欠くものとなる。特に本発明では、酸化物緩衝層の層厚は、10 nm 以上 1 μ m 以下の厚さとするのが好ましい。従来の技術のように、Si 単結晶基板上に窒化アルミニウム (AlN) からなる緩衝層を構成した場合には、緩衝層上に形成した GaN 層の表面は平坦性が損なわれたものとなった (特開平 10-242586)。しかし、上記の本発明の緩衝層上には、表面が平坦で結晶性に優れる III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造が成長できる。即ち、本発明の緩衝層は、平坦性に優れた結晶性の良い積層構造をもたらし作用を有する。

【0016】また本発明の緩衝層は、上記の酸化物緩衝層の上に形成された III 族窒化物半導体からなる第 2 の緩衝層を有していることが好ましい。第 2 の緩衝層は、一般式 Al_xGa_yIn_{1-x-y}N (0 ≤ X ≤ 1, 0 ≤ Y ≤ 1, 0 ≤ X+Y ≤ 1) で表される III 族窒化物半導体から構成できる。第 2 の緩衝層は、多結晶と非晶質とからなる構造を有するものとする。第 2 の緩衝層の介在により、その上に形成する III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造は、連続性並びに平坦性に優れたものとなる。

【0017】酸化物緩衝層の上に III 族窒化物半導体からなる第 2 の緩衝層を形成した構成の緩衝層としては、例えば、Si 単結晶基板に直接接する α -Ga₂O₃ からなる酸化物緩衝層の上に、GaN からなる第 2 の緩衝層を形成したものが挙げられる。また、 γ -Ga₂O₃ を 50 重量%より多く含む酸化物緩衝層を Si 単結晶基板上に接して形成し、該酸化物緩衝層上に窒化アルミニウム (AlN) から第 2 の緩衝層を形成する例もある。酸化物緩衝層と第 2 の緩衝層とは、共通の III 族元素

を含んでいる必要はない。

【0018】第2の緩衝層を構成するIII族窒化物半導体は、有機金属化学気相成長(MOCVD)法や分子線エピタキシャル(MBE)法、気相成長(VPE)法で成長できる。上記のMOCVD法、MBE法、VPE法を総称して、本明細書では気相成長法と呼ぶ。第2の緩衝層を成長するためには、上記の気相成長法に共通して、成長温度を350℃～550℃とするのが好ましい。成長温度を350℃～550℃とすることにより、第2の緩衝層を多結晶と非晶質とからなる構造とすることができる。また第2の緩衝層の層厚としては、2nmから200nmの範囲とするのが好適である。第2の緩衝層は、アンドープ層あるいはn形不純物ドープ層の何れからも構成でき、ドーピングするn形不純物としては、珪素(Si)、錫(Sn)等の第IV族元素、若しくは硫黄(S)やセレン(Se)などの第VI族元素から選択できる。第2の緩衝層は、n形の導電性を有するものとするのが好ましい。

【0019】さらに本発明は、上記の酸化物緩衝層が、ベータ(β)結晶型の三酸化ガリウム(β-Ga₂O₃)を50重量%より多く含むことが好ましい。これはβ-Ga₂O₃が、GaOやGa₂Oあるいはα-Ga₂O₃等のβ-Ga₂O₃以外のGa₂O₃に比べて、高温での安定性に優れるからである。III族窒化物半導体結晶からなる積層構造の成長温度は、一般に1000℃或いはそれを越える高温である。β-Ga₂O₃はこの様な高温にも十分に耐える安定性を有している。一方、Ga₂Oは約700℃で分解し、またα-Ga₂O₃は約300℃～約600℃でβ-Ga₂O₃に変態するなど、β-Ga₂O₃以外のGaの酸化物は、高温での形態の安定性に欠ける傾向がある。従って、β-Ga₂O₃を50重量%より多く含む酸化物緩衝層を構成すれば、III族窒化物半導体結晶からなる積層構造の成長の際に、酸化物緩衝層の熱的解離或いは昇華による緩衝層の損失、損壊を防止することができる。

【0020】β-Ga₂O₃を50重量%より多く含む酸化物緩衝層をSi単結晶基板上に形成するためには、酸化物緩衝層の形成温度を600℃以上に設定する必要がある。例えば、メトキシ(methoxy)基を有する有機Ga化合物を原料とするCVD法で酸化物緩衝層を形成する場合、500℃以下の形成温度では、Si単結晶基板上にはα-Ga₂O₃が主に生成する。また、400℃～500℃近傍の温度では、γ-Ga₂O₃が主に形成される。アズグロウン(as-grown)状態の酸化物緩衝層が、β-Ga₂O₃ではなく例えばα-Ga₂O₃を主体としている場合、該酸化物緩衝層を少なくとも600℃以上、好ましくは1000℃以上に加熱することにより、β-Ga₂O₃を50重量%より多く含む酸化物緩衝層に変換することができる。

【0021】本発明の緩衝層上には、緩衝層の成長温度

よりも高温でIII族窒化物半導体結晶からなる積層構造を形成する。本発明の緩衝層の内部の結晶構造は、非晶質や多結晶や単結晶若しくはそれらの混合物であっても差し支えないが、その上に形成するIII族窒化物半導体結晶からなる積層構造は、発光素子の機能層の役割を果たすため、結晶性に優れる単結晶から構成する必要がある。このため、積層構造の成長温度を緩衝層よりも高温とし、単結晶のIII族窒化物半導体からなる積層構造を形成する必要がある。

【0022】III族窒化物半導体は、一般にAl_xGa_yIn_{1-x-y}N(0≤X≤1, 0≤Y≤1, 0≤X+Y≤1)で表される。また、窒素以外の砒素やリンを含むIII族窒化物半導体、すなわち一般式Al_xGa_yIn_{1-x-y}NaM_{1-a}(0≤X≤1, 0≤Y≤1, 0≤X+Y≤1, Mは窒素以外の第V族元素を表し、0<a≤1)で表されるIII族窒化物半導体も、積層構造に用いることができる。例えば、Si単結晶基板上に接してGaの酸化物を50重量%より多く含む、n形の導電性を有する酸化物緩衝層を形成し、その上にn形Ga_n層を下

20 部クラッド層、n形窒化ガリウム・インジウム(Ga_yIn_{1-y}N: 0≤Y≤1)層を発光層、p形Al_xGa_{1-x}N(0<X≤1)層を上部クラッド層として順次積層して積層構造を形成すれば、短波長の可視光乃至近紫外光を発光する発光素子用の積層構造が形成できる。さらに、Si単結晶基板の裏面及び積層構造の表面にオーミック(Ohmic)電極を設ければLEDやLD等のIII族窒化物半導体発光素子が構成できる。

【0023】

【実施例】(実施例1)以下、本発明の詳細を、LEDを作製する場合を例にして具体的に説明する。図1は、本実施例1に係わるLEDの構造を示す断面模式図である。

【0024】本実施例1のLEDは、Si単結晶基板101上に緩衝層102を介して積層構造106を形成したエピタキシャルウェハを用いて作製した。該エピタキシャルウェハは、(001)面を有するアンチモン(Sb)をドープしたn形のSi単結晶基板101の上に酸化物緩衝層102を形成し、その上にIII族窒化物半導体結晶からなる積層構造106の構成層103、104、105を積層して形成したものである。上記のエピタキシャルウェハは以下のようにして作製した。

【0025】Si単結晶基板101を、MOCVD法による薄膜の成長に用いる一般的なMOCVD反応炉内に載置した後、95体積%のアルゴン(Ar)と5体積%の酸素(O₂)との混合ガスからなる雰囲気中で650℃に加熱した。その後、8×10⁻⁵mol/分に相当する量のトリメトキシガリウム((H₃CO)₃Ga)の蒸気を随伴する水素ガスを反応炉内に導入して、層厚を約10nmとするα型三酸化ガリウム(α-Ga₂O₃)からなる酸化物緩衝層102をSi単結晶基板101上に

接して堆積した。このエピタキシャルウェハの作製とは別に、 $(\text{H}_3\text{CO})_3\text{Ga}$ の供給量を同一に設定し、上記と同一の条件で高抵抗の Si 基板上に約 $0.8\ \mu\text{m}$ と厚く形成した $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ からなる酸化物層は、通常のホール (Hall) 効果測定法に依れば n 形の導電性を有し、そのキャリア濃度は約 $10^{17}\sim 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ であった。また、X線回折分析に依れば、上記の方法で形成した酸化物層は、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を 75 重量%以上含むものであった。

【0026】酸化物緩衝層 102 の形成終了後、雰囲気を上記のアルゴンと酸素の混合ガスとし、直ちに基板 101 の温度を 1050°C に昇温した。昇温速度は約 $80^\circ\text{C}/\text{分}$ に設定した。昇温後、トリメチルガリウムを Ga 原料とし、アンモニア (NH_3) を窒素原料として、通常の常圧 MOCVD 法により、Si をドーブした n 形の GaN からなる下部クラッド層 103 を成長した。下部クラッド層 103 の層厚は約 $3\ \mu\text{m}$ とし、キャリア濃度は約 $3\times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ とした。酸化物緩衝層 102 上に成長した下部クラッド層 103 の表面は平坦で連続性に優れるものとなった。

【0027】下部クラッド層 103 の成長後、基板 101 の温度を 880°C に下げ、下部クラッド層 103 上に平均的なインジウム (In) 組成比を 0.17 とする n 形 $\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{N}$ 層を发光層 104 として常圧 MOCVD 法で積層した。发光層 104 は n 形でキャリア濃度は約 $7\times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ に設定し、層厚を約 $9\ \text{nm}$ とした。发光層 104 は、特に、主体相 (matrix phase) と主体相とはインジウム組成比を相違する従属相 (sub-phase) から成る多相構造の結晶層から構成した。従属相は、主に、略球状の微結晶から成っており、主体相内に散在する従属相 (微結晶) の中には、外周囲に歪層 (歪領域) を有するものも認められた。发光層 104 の成長後、基板 101 の温度を 1050°C に戻し、发光層 104 との接合界面 104a でのアルミニウム (Al) 組成比 (X) が 0.20 であり、表面での Al 組成比が 0 である、層厚を $100\ \text{nm}$ とするマグネシウム (Mg) ドープの p 形 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層を、发光層 104 上にコンタクト層を兼ねる上部クラッド層 105 として積層した。上記のようにして、上記の n 形下部クラッド層 103、n 形の多相構造の发光層 104、及び上部クラッド層 105 よりなる pn 接合型のダブルヘテロ (DH) 接合構造の发光部を備えた LED 用のエピタキシャルウェハを作製した。

【0028】发光部を構成する積層構造 106 の各構成層 103、104、105 は、何れも表面状態に優れ且つ平坦性のある結晶性の良い III 族窒化物半導体結晶から作製することが出来た。特に、酸化物緩衝層 102 と下部クラッド層 103 との間には、空隙などは認められず、密着性に優れる積層構造 106 が作製できた。

【0029】LED は、上記のようにして作製したエピ

タキシャルウェハの Si 単結晶基板 101 の裏面と Al 組成の勾配を有する $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる上部クラッド層 105 の表面に、それぞれ n 形オーミック電極 108 および p 形オーミック電極 107 を形成し、その後素子に分離して作製した。p 形および n 形オーミック電極 107、108 は、ともに Al から構成した。

【0030】上記のようにして得られた LED の p 形および n 形オーミック電極 107、108 の間に順方向に $20\ \text{mA}$ の動作電流を流して、LED を発光させた。LED からは、ピーク波長を約 $470\ \text{nm}$ とし、半値幅を約 $15\ \text{nm}$ とするスペクトルを有する青緑色の発光が観察された。一般的な積分球を利用して測定される発光の強度は約 $15\ \mu\text{W}$ であった。このように、本実施例 1 では高輝度の III 族窒化物半導体発光素子が得られた。

【0031】(実施例 2) 本実施例 2 では、酸化物緩衝層と該酸化物緩衝層上に形成された III 族窒化物半導体からなる第 2 の緩衝層とからなる緩衝層を具備した LED を作製する場合を例にして、本発明を具体的に説明する。図 2 は本実施例 2 に係わる LED の構造を示す断面模式図である。

【0032】本実施例 2 に係わる LED 用のエピタキシャルウェハの作製は、以下のようにして行った。まず、リン (P) をドーブした n 形の (001) 面を有する Si 単結晶基板 101 上に、 480°C で主に多結晶から成る酸化物緩衝層 102 を堆積した。酸化物緩衝層 102 は、三酸化ガリウム (Ga_2O_3) の粉状混合物を蒸着源とする一般的な真空蒸着法で形成した。X線回折分析の結果に依れば、酸化物緩衝層 102 の主たる構成要素は $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ であり、その構成比率は重量比率にして約 80% であった。酸化物緩衝層 102 内には、その他 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ や $\delta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の存在が認められた。酸化物緩衝層 102 の層厚は、約 $18\ \text{nm}$ とした。また、酸化物緩衝層 102 は n 形の導電性を示した。

【0033】酸化物緩衝層 102 上には、同じく 480°C で、トリメチルガリウム ($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$)、トリメチルアルミニウム ($(\text{CH}_3)_3\text{Al}$) 及びアンモニア (NH_3) を原料とする一般的な常圧 MOCVD 法により、アルミニウム組成比を 0.1 とする窒化アルミニウム・ガリウム ($\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$) からなる第 2 の緩衝層 109 を積層させた。第 2 の緩衝層 109 は、多結晶と非晶質からなる構造を有し、層厚は約 $15\ \text{nm}$ であった。

【0034】第 2 の緩衝層 109 上には、実施例 1 と同様の手順により、n 形下部クラッド層 103、n 形の多相構造の发光層 104、及び上部クラッド層 105 からなる積層構造 106 を形成した。このようにして、実施例 1 と同じ n 形下部クラッド層 103、n 形の多相構造の发光層 104、及び上部クラッド層 105 からなる发光部を有する LED 用のエピタキシャルウェハが作製された。さらに、実施例 1 と同じ方法により、上記エピタ

キシヤルウェハに p 形および n 形オーミック電極 107、108 を形成し、素子に分離して LED を作製した。上記のようにして作製した LED に 20 mA の順方向電流を流した際の発光のピーク波長は約 470 nm であった。また一般的な積分球を利用して測定された LED の発光強度は、約 18 μ W であった。すなわち本実施例 2 では、実施例 1 の LED に比べてさらに発光強度の高い III 族窒化物半導体発光素子が得られた。

【0035】（実施例 3）本実施例 3 では、 β -Ga₂O₃ を 50 重量% より多く含む酸化物緩衝層を含む緩衝層上に III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を形成して LED を作製する場合を例にして本発明を具体的に説明する。本実施例 3 に係わる LED の構造は、図 2 に示す LED と同一とした。

【0036】本実施例 3 に係わる LED は、以下の手順で作製した。Sb をドープした n 形の (001) 面を有する Si 単結晶基板 101 の表面上に、ガリウム酸化物粉末を高圧プレス法で成型してなしたターゲット材料を使用して、一般的な高周波スパッタリング法により、400℃ で α -Ga₂O₃ を主体とする酸化物層を堆積した。該酸化物層の層厚は約 100 nm とした。

【0037】然る後、上記の酸化物層を形成した基板を、アルゴン (Ar) 気流中で 1100℃ で 20 分間加熱した。これより、酸化物層を構成する α -Ga₂O₃ を β -Ga₂O₃ に変換して、本発明に係わる酸化物緩衝層 102 を形成した。酸化物緩衝層 102 中の β -Ga₂O₃ の重量構成比率は約 98% 程度となった。その他は、 α -Ga₂O₃ がほとんどであった。 α -Ga₂O₃ を加熱して β -Ga₂O₃ に変態させて、 β -Ga₂O₃ を 50 重量% より多く含む酸化物緩衝層 102 を構成した後、この酸化物緩衝層上に、実施例 2 と同様にして Al_{0.1}Ga_{0.9}N からなる第 2 の緩衝層 109 を積層させた。

【0038】その後、上記の第 2 の緩衝層 109 上に、実施例 1 と同様にして、n 形下部クラッド層 103、n 形の多相構造の発光層 104、及び上部クラッド層 105 からなる積層構造 106 を形成した。この積層構造 106 の構成層 103、104、105 は何れも表面の平坦性に優れるものとなった。

【0039】続いて、上記の方法で得られたエピタキシャルウェハを用いて、実施例 1 と同様の方法により、LED を作製した。本実施例 3 で作製した LED に、20 mA の順方向電流を流した際の発光のピーク波長は約 472 nm となった。また発光強度は、23 μ W となった。このように発光強度の強い LED が得られたのは、酸化物緩衝層がほぼ β -Ga₂O₃ の単体から構成されていること、及び酸化物緩衝層上に III 族窒化物半導体からなる第 2 の緩衝層を積層したことにより、積層構造を構成する各構成層の結晶性が優れたものとなったことによると考えられる。このように本実施例 3 では、発光強度の強い III 族窒化物半導体発光素子が得られる結果となった。

【0040】

【発明の効果】本発明の III 族窒化物半導体発光素子によれば、Si 単結晶結晶基板上に表面の平坦な結晶性の良い III 族窒化物半導体結晶からなる積層構造を形成することができるため、発光強度の強い III 族窒化物半導体発光素子を作製することが出来る。なお、上記の実施例では、LED を作製する場合について説明したが、本発明は LD を作製する場合にも用いることができる。

【図面の簡単な説明】

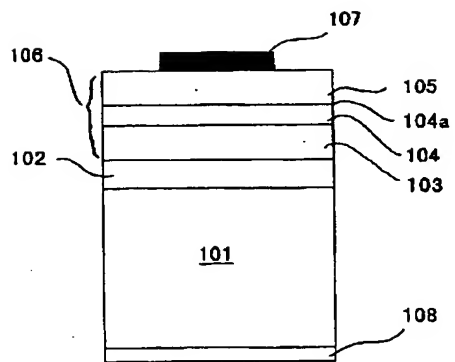
【図 1】実施例 1 に係わる LED の構造を示す断面模式図。

【図 2】実施例 2、3 に係わる LED の構造を示す断面模式図。

【符号の説明】

- 101 Si 単結晶基板
- 102 酸化物緩衝層
- 103 下部クラッド層
- 104 発光層
- 104 a 発光層と上部クラッド層との接合界面
- 105 上部クラッド層
- 106 積層構造
- 107 p 形オーミック電極
- 108 n 形オーミック電極
- 109 第 2 の緩衝層

【図 1】



【図 2】

